表1 历年各历时降水量

## 暴雨强度公式编制

### 各历时频率曲线拟合

按照现行排水规范对暴雨强度公式编制要求，此次暴雨强度公式编制工作采用{{method\_1}}对降雨资料进行选样，并采用耿贝尔频率分布曲线进行频率计算。耿贝尔(1941)将极值分布第一形式应用于水文统计，从而得到了分布曲线，后人称为耿贝尔分布。耿贝尔分布形态为偏态铃型。耿贝尔分布为：

式中：

—为耿贝尔分布的超过机率；

为暴雨强度；

，, ，其中：为欧拉常数

;

。

设超过概率为,则

整理得，

将的表达式代入式得：

令频度系数为

所以 , 式中系数可用最小二乘法推求。令,用最 小二乘法求得中的参数

基于耿贝尔分布曲线调整选样数据资料，调整各个参数使曲线拟合最优，各曲线间隔相对保持均匀，长历时暴雨公式编制调参重点关注高重现期拟合结果。{{method\_1}}耿贝尔分布频率计算的参数结果见表2，各历时频率拟合曲线见图1至图{{pic\_num}}，重现期-历时-降水强度的关系见表3。

表2 耿贝尔分布拟合各历时的Cv、Cs参数值

{{pic\_1}}

图1 5min历时耿贝尔分布拟合曲线（包含适线）

{{pic\_2}}

图2 10min历时耿贝尔分布拟合曲线（包含适线）

{{pic\_3}}

图3 15min历时耿贝尔分布拟合曲线（包含适线）

{{pic\_4}}

图4 20min历时耿贝尔分布拟合曲线（包含适线）

{{pic\_5}}

图5 30min历时耿贝尔分布拟合曲线（包含适线）

{{pic\_6}}

图6 45min历时耿贝尔分布拟合曲线（包含适线）

{{pic\_7}}

图7 60min历时耿贝尔分布拟合曲线（包含适线）

{{pic\_8}}

图8 90min历时耿贝尔分布拟合曲线（包含适线）

{{pic\_9}}

图9 120min历时耿贝尔分布拟合曲线（包含适线）

{{pic\_10}}

图10 150min历时耿贝尔分布拟合曲线（包含适线）

{{pic\_11}}

图11 180min历时耿贝尔分布拟合曲线（包含适线）

{{pic\_12}}

{{title\_12}}

{{pic\_13}}

{{title\_13}}

{{pic\_14}}

{{title\_14}}

{{pic\_15}}

{{title\_15}}

表3 耿贝尔型分布P-i-t表(单位：mm/min)

### 暴雨强度公式拟合

依据《室外排水设计规范》（GB50014-2006，2014年版），暴雨强度公式的定义为：



式中：为暴雨强度（单位：L/（s•hm2）），和降雨量i（单位：mm）转换关系为：q=，P为重现期（单位：a），取值范围为2a-100a；t为降雨历时（单位：min），取值范围为5-1440min。重现期越大、历时越短，暴雨强度就越大，而A、b、c、n是与地方暴雨特性有关且需求解的参数：A为雨力参数，即重现期为1a时1min的设计降水量（单位：mm）；c为雨力变动参数；b为降雨历时修正参数，即对暴雨强度公式两边求对数后能使曲线化成直线所加的一个时间参数（单位：min）；n为暴雨衰减指数，与重现期有关。因此，由频率拟合的P-i-t三联表（表3），应用数值逼近法和最小二乘法解此二元线性回归方程，可推算出暴雨强度总公式，计算得到的暴雨强度公式（总公式/分公式）如表4所示。

表4所得暴雨强度总公式及误差

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 公式  类型 | **暴雨强度公式**  **单位：（mm/min）** | **MAE** | **RMSE** | **相对误差** |
| 总公式 | i={{A}}\*(1+{{C}}lgP)/(t+{{B}}){{N}} | {{mae\_1}} | {{rse\_1}} | {{xd\_1}} |
| 2a | i={{A\_2}}\*(1+{{B\_2}}){{N\_2}} | {{mae\_2}} | {{rse\_2}} | {{xd\_2}} |
| 3a | i={{A\_3}}\*(1+{{B\_3}}){{N\_3}} | {{mae\_3}} | {{rse\_3}} | {{xd\_3}} |
| 5a | i={{A\_4}}\*(1+{{B\_4}}){{N\_4}} | {{mae\_4}} | {{rse\_4}} | {{xd\_4}} |
| 10a | i={{A\_5}}\*(1+{{B\_5}}){{N\_5}} | {{mae\_5}} | {{rse\_5}} | {{xd\_5}} |
| 20a | i={{A\_6}}\*(1+{{B\_6}}){{N\_6}} | {{mae\_6}} | {{rse\_6}} | {{xd\_6}} |
| 30a | i={{A\_7}}\*(1+{{B\_7}}){{N\_7}} | {{mae\_7}} | {{rse\_7}} | {{xd\_7}} |
| 50a | i={{A\_8}}\*(1+{{B\_8}}){{N\_8}} | {{mae\_8}} | {{rse\_8}} | {{xd\_8}} |
| 100a | i={{A\_9}}\*(1+{{B\_9}}){{N\_9}} | {{mae\_9}} | {{rse\_9}} | {{xd\_9}} |

式中：

i——暴雨强度计算值（mm/min）；

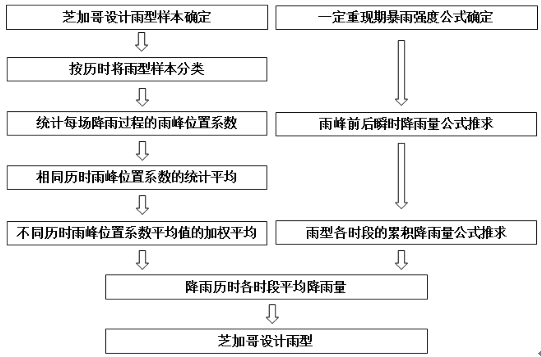
t——降雨历时（min）；

P——重现期（a）。

## 设计暴雨雨型确定

### 短历时设计雨型

芝加哥雨型与复合雨型相当，均为一定重现期下不同历时最大雨强复合而成，雨型的确定同样基于特定重现期下的IDF关系曲线。芝加哥雨型确定包括综合雨峰位置系数确定及芝加哥降雨过程线模型确定，具体流程如下：



{{title\_16}} 芝加哥雨型计算过程

令芝加哥雨型过程的总历时为t0，峰前的瞬时强度曲线为Ia，相应的历时为ta，降雨累计量为Ha，峰后的瞬时强度曲线为Ib，相应历时为tb，降雨累计量为Hb，总降雨量HT = Ha + Hb。

取一定重现期下暴雨强度公式形式为：



因此，雨峰前后瞬时降雨强度可由下式计算：

当0≤*t*≤*ta*时:



当0≤*t*≤*tb*时:



式中，A、b、n为一定重现期下暴雨强度公式中的参数，t为峰值前后时刻距雨峰的历时，r为综合雨峰位置系数，是根据每场降雨不同历时峰值时刻与整个历时的比值而加权平均确定的，r位于0～1之间。

在求出综合雨峰位置系数r之后，可计算雨型各时段（以5min计）的累积降雨量：

当0≤≤时:



当≤≤时：



其中，

在计算出雨型各时段的累积降雨量之后，各时段的平均降雨量可依次相减求出，进而得到每个时段内的平均降雨强度，最终确定出对应一定重现期及降雨历时的芝加哥雨型。

## 雨峰系数计算

芝加哥雨型的雨峰位置系数需要通过统计确定，在本次报告中，采取的主要步骤如下：

读取所有{{station\_name}}分钟降水数据，进行异常值、缺失值的处理，保证每一分钟对应的雨量正常。

针对每一年的完整数据，分别按120/150/180min间隔划分后得到若干场雨。

通过滑动计算最大值的方式，根据按不同间隔划分的场雨，分别找到每年中最大的30/60/90/120/150/180min历时场雨过程。

将得到的各个雨峰位置系数进行合成，得到最终的用于芝加哥雨型的综合雨峰位置系数，在本例中的计算方法为：先算出30、60、90、120。150、180min历时场雨的平均雨峰系数，然后基于加权平均的方式(30min平均系数乘以30，...，180min平均系数乘以180，相加后除以30+60+90+120+150+180)，计算得出综合系数值。